

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-266006

(43)Date of publication of application : 28.09.1999

(51)Int.Cl.

H01L 29/20

H01L 33/00

H01S 3/18

(21)Application number : 10-066769

(71)Applicant : SHOWA DENKO KK

(22)Date of filing : 17.03.1998

(72)Inventor : TERAJIMA KAZUTAKA

TSUZAKI TAKUJI

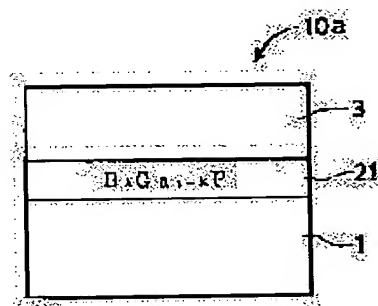
UDAGAWA TAKASHI

(54) LAMINATED STRUCTURE BODY AND COMPOUND SEMICONDUCTOR DEVICE USING THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enable conformity between a buffer and a cubic system group III nitride semiconductor layer laminated on the upper surface, so as to be made matched almost perfectly in a laminated structure body.

SOLUTION: A laminated structure body 10a comprises a cubic system crystalline substrate 1, a buffer layer 21 comprising phosphorized boron gallium mixed crystal ( $B_xGa_{1-x}P$ ,  $0 \leq x \leq 1$ ) formed on the substrate 1 and a group III nitride semiconductor layer 3 which are represented by mainly comprising the cubic system in the general structural formula of  $A_xGayNwM_{1-w}$  layer ( $0 \leq x, y, z \leq 1$ ,  $x+y+z=1$ ,  $0 < w \leq 1$ , where symbol M represents group V element other than nitrogen).



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 25.05.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 30.09.2003

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2003-20928

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 1 1 - 2 6 6 0 0 6

(43) 公開日 平成11年(1999)9月28日

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 29/20

H 0 1 L 29/20

33/00

33/00

C

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数 9

O L

(全 1 6 頁)

(21) 出願番号 特願平10-66769

(22) 出願日 平成10年(1998)3月17日

(71) 出願人 000002004

昭和電工株式会社

東京都港区芝大門1丁目13番9号

(72) 発明者 寺嶋 一高

神奈川県海老名市中野206番地3

(72) 発明者 津崎 卓司

長野県松本市中央3丁目5番21号

(72) 発明者 宇田川 隆

埼玉県秩父市大字下影森1505番地 昭和電

工株式会社総合研究所秩父研究室内

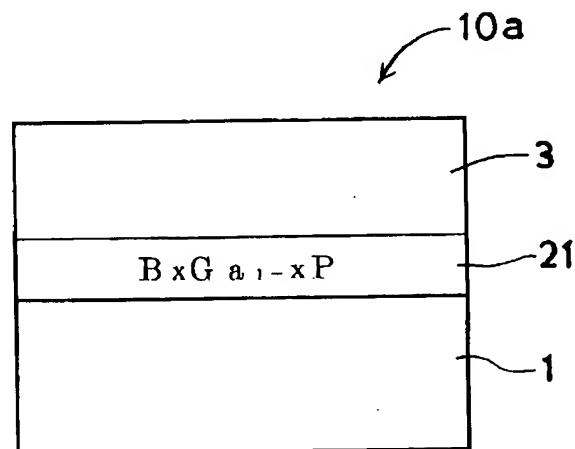
(74) 代理人 弁理士 福田 武通 (外2名)

(54) 【発明の名称】 積層構造体及びそれを用いた化合物半導体デバイス

(57) 【要約】

【課題】 積層構造体において、緩衝層と、その上面に積層させる立方晶のIII族窒化物半導体層との整合性をほぼ完全なものにできるようにする。

【解決手段】 この発明の積層構造体 10 a は、立方晶の結晶基板 1 と、この結晶基板 1 上に形成したリン化硼素ガリウム混晶 ( $B_xGa_{1-x}P$  :  $0 \leq x \leq 1$ ) から成る緩衝層 2 1 と、緩衝層 2 1 上に形成した、立方晶を主体とし一般構造式が  $Al_xGa_yIn_zN_wM_{1-w}$  層 ( $0 \leq x, y, z \leq 1, x+y+z=1, 0 < w \leq 1$  で記号 M は窒素以外の第 V 元素を表す。) で表される III 族窒化物半導体層 3 と、を備えて成る。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に積層して成る積層構造体において、

立方晶の結晶基板と、

上記結晶基板上に形成したリン化硼素ガリウム混晶 ( $B_xGa_{1-x}P$ :  $0 \leq x \leq 1$ ) から成る緩衝層と、

上記緩衝層上に形成した、立方晶を主体とし一般構造式が  $Al_pGa_qIn_rN_sM_{1-s}$  層 ( $0 \leq p, q, r \leq 1$ ,  $p+q+r=1$ ,  $0 < s \leq 1$  で記号Mは窒素以外の第V族元素を表す。) で表されるIII族窒化物半導体層と、

を備えたことを特徴とする積層構造体。

【請求項2】 上記緩衝層を構成する第III族元素の組成に勾配を付した、

ことを特徴とする請求項1に記載の積層構造体。

【請求項3】 上記緩衝層は、緩衝層を構成する第III族元素の組成比を異にする層を重ねさせて成る、

ことを特徴とする請求項1に記載の積層構造体。

【請求項4】 基板上に積層して成る積層構造体において、

立方晶の結晶基板と、

上記結晶基板上に形成したリン化窒化硼素混晶 ( $BN_zP_{1-z}$ :  $0 \leq z \leq 1$ ) から成る緩衝層と、

上記緩衝層上に形成した、立方晶を主体とし一般構造式が  $Al_pGa_qIn_rN_sM_{1-s}$  層 ( $0 \leq p, q, r \leq 1$ ,  $p+q+r=1$ ,  $0 < s \leq 1$  で記号Mは窒素以外の第V族元素を表す。) で表されるIII族窒化物半導体層と、

を備えたことを特徴とする積層構造体。

【請求項5】 上記緩衝層を構成する第V族元素の組成に勾配を付した、

ことを特徴とする請求項4に記載の積層構造体。

【請求項6】 上記緩衝層は、緩衝層を構成する第V族元素の組成比を異にする層を重ねさせて成る、

ことを特徴とする請求項4に記載の積層構造体。

【請求項7】 基板上に積層して成る積層構造体において、

立方晶の結晶基板と、

上記結晶基板上に、リン化硼素ガリウム混晶 ( $B_xGa_{1-x}P$ :  $0 \leq x \leq 1$ ) から成る第1の緩衝層と、リン化窒化硼素混晶 ( $BN_zP_{1-z}$ :  $0 \leq z \leq 1$ ) から成る第2

の緩衝層とを適宜に重ねさせて形成した緩衝層と、

上記緩衝層上に形成した、立方晶を主体とし一般構造式が  $Al_pGa_qIn_rN_sM_{1-s}$  層 ( $0 \leq p, q, r \leq 1$ ,  $p+q+r=1$ ,  $0 < s \leq 1$  で記号Mは窒素以外の第V族元素を表す。) で表されるIII族窒化物半導体層と、

を備えたことを特徴とする積層構造体。

【請求項8】 上記第1の緩衝層を構成する第III族元素の組成、及び上記第2の緩衝層を構成する第V族元素の組成の少なくとも一方に勾配を付した、

ことを特徴とする請求項7に記載の積層構造体。

【請求項9】 請求項1から8のいずれかに記載の積層

構造体を用いて構成した、ことを特徴とする化合物半導体デバイス。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、結晶基板上に緩衝層を介して積層されたIII族窒化物半導体層を備えた積層構造体に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 窒化アルミニウム・ガリウム混晶 ( $Al_xGa_yN$ :  $0 \leq x, y \leq 1$ ,  $x+y=1$ ) や窒化ガリウム・インジウム混晶 ( $Ga_xIn_yN$ :  $0 \leq x, y \leq 1$ ,  $x+y=1$ ) などのIII族窒化物半導体は、青色等の短波長可視光発光ダイオード (英略称: LED) やレーザダイオード (英略称: LD) 或いはフォトダイオード

(英略称: PD) などのIII族窒化物半導体光デバイスを構成する層として利用されている (Mat. Res. Soc. Symp. Proc., Vol. 449 (1997), 509~518頁参照)。また、ショットキー (Schottky) 接合電界効果型トランジスタ (英略称: MESFET) などのIII族窒化物半導体電子デバイスを構成するのに利用されている (Proc. OF THE TOPICAL WORKSHOP ON III-V NITRIDES (21~23. Sept. 1995) (PERGAMON PRESS), 97~100頁参照)。

【0003】 これらの化合物半導体デバイスは、従来から、もっぱら六方晶 (hexagonal) 系に属するサファイア ( $\alpha-Al_2O_3$  単結晶) を基板とする積層構造体から構成されている。サファイアのa軸の格子定数は4.785Åである。従来の積層構造体の主要な構成材料である六方晶の窒化ガリウム (化学式: GaN) のa軸の格子定数は3.180Åである (赤崎 勇編著、「III-V族化合物半導体」(1994年5月20日初版、(株)培風館発行、148頁の表7.1)。したがって、窒化ガリウムと基板たるサファイアとのミスマッチ (mis-match) 度は、サファイア上でのGaNの配向を考慮しても13.8%の大きさに達する

(「日本結晶成長学会誌」、Vol. 15, No. 3 & 4 (1988), 75~82頁参照)。従来の積層構造体の一構成材料である格子定数を3.533Åとする窒化インジウム (化学式: InN) と、六方晶の窒化ガリウムとの格子不整合度も約11.1%に達する。このように従来のIII族窒化物半導体デバイス用途の積層構造体は、大凡、10%程度の不整合性を内包する格子不整合系の構成からなっているものである。

【0004】 基板材料と積層構造体の構成層間の格子の不整合度が大きい場合、連続性のある良好な結晶性のエピタキシャル (epitaxial) 薄膜層を積層するには困難を極める。したがって、従来のIII族窒化物半導体デバイス用途の積層構造体にあっては、例えば六方

晶のサファイア基板と積層構造体構成層との格子不整合性を緩和する目的で緩衝層を配置するのが常套手段となっている。

【0005】緩衝層は通常、 $Al_xGa_yN$  ( $0 \leq x, y \leq 1$ ) 混晶から構成される(特開平2-229476号公報明細書及び特開平4-297023号公報明細書参照)。緩衝層は実用上、約400℃～約600℃と比較的に低温で成膜されるため、低温緩衝層と呼称されている。従来に於いて、緩衝層として備えるべき重要な要件は、六方晶ウルツァイト(wurzite)型の、微結晶が混在したアモルファス(amorphous)結晶層であるとされている(特開平2-229476号公報明細書参照)。すなわち、従来の積層体は、六方晶の結晶基板表面上に六方晶系のIII族窒化物半導体からなる緩衝層を内包するものとなっているのが通例である。

【0006】ところで、従来の積層構造体が、上記のように六方晶を主体とする結晶層から構成されていることについては、次のような特異な問題点が存在する。

【0007】それは、六方晶の窒化ガリウム系半導体が元来、ピエゾ(piezoelectric)効果(圧電効果)を呈することである。電子の高速応答性が必要とされるMODFETや、大容量の電力(パワー)デバイスでは、圧電効果による電荷分離は電子の正常な走行を決定的に阻害するものである。したがって、高速応答性に優れるデバイスを構成するには、圧電効果による分極を内包しない積層構造体から構成するのが優位となる。

【0008】圧電(ピエゾ)効果の強弱は、同一のIII族窒化物半導体であっても、その結晶系によって異なる。立方晶(cubic)のIII族窒化物半導体では、圧電効果が発生し難いとされている(平成8年度先端研究報告書 NEDO-PR-9605、「ハードエレクトロニクス」(平成9年3月(財)新機能素子研究開発協会発行)、75頁参照)。これは、電子の高速応答性を発揮するデバイスを獲得するに優位な潜在的要因である。

【0009】また、立方晶では、価電子帯側のバンドの縮帯が解放されていないため(生駒俊明、生駒英明共著、「化合物半導体の基礎物性入門」(1991年9月10日初版、(株)培風館発行、17頁参照)、低抵抗のp形伝導層を形成するのが六方晶に比較すれば容易であるとされる(特開平2-275682号公報明細書参照)。このような、低抵抗のp形伝導層を容易に形成できるという立方晶の有する特性は、pn接合を内包するLED、LD、或いは略称IGBT(絶縁ゲートバイポーラトランジスタ)等のパワー電子デバイス系ダイオード用途の各積層構造体を安定して構築する上で、重要な優れた特質である。

【0010】このため、最近では立方晶のIII族窒化物半導体結晶層をもってデバイス用途の積層構造体を構築する試みがなされている。デバイス用積層構造体を立方

晶のIII族窒化物半導体結晶層から構成することを意図した従来技術は、基板結晶を単結晶の珪素(Si)や砒化ガリウム(GaAs)とするのを基本としている。これは、六方晶の結晶上には六方晶の結晶が優勢的に育成されるように、立方晶の結晶を優勢的に成長させるには立方晶系に属するダイヤモンド構造型のSi及び閃亜鉛鉱構造(zinc blend)型のGaAsを基板結晶として利用するのが元来、有利であることに依るものである。

10 【0011】しかし、立方晶の基板結晶上に直接成膜されたIII族窒化物半導体層の内部には、立方晶と六方晶の結晶相が混在することが知られている。例えば、GaAs基板上に成膜したGaN成長層の例では、10%程度で六方晶が混在することが報告されている(1997年(平成9年)第58回応用物理学会学術講演会講演予稿集No.1((社)応用物理学会、1997年10月2日発行)、講演番号3p-Q-15、316頁参照)。

20 【0012】この背景に鑑み、立方晶のSi単結晶を基板として積層構造体を構成する場合であっても、緩衝層を介して積層構造体の各構成層を堆積する操作が行われる。この場合の緩衝層の構成材料としては、炭化珪素(SiC)が使用されるが、この炭化珪素には、六方晶の炭化珪素(6H-SiCと称される)と立方晶の炭化珪素(3C-SiCと称される)とが存在する(「SiC及び関連ワイドギャップ半導体研究会第5回講演会予稿集」(応用物理学会主催、1996年10月31日～11月1日)、20頁及びProc. TOPICAL MEETINGWORKSHOP ON III-V NITRIDES (Sept. 21～23, 1995)、PERGAMON PRESS、335～338頁参照)。そして、六方晶の6H-SiC上には、六方晶のIII族窒化物半導体層が優勢的に成長するため、立方晶のIII族窒化物半導体結晶層を形成するのには適していない。

40 【0013】一方、立方晶の3C-SiCから緩衝層を構成すれば、立方晶のIII族窒化物半導体層が重層できると期待されるが、その緩衝層上には実際は六方晶と立方晶の結晶相とが混在する結晶層が形成されてしまう(1997年(平成9年)秋季第58回応用物理学会学術講演会講演予稿集No.1((社)応用物理学会、1997年10月2日発行)、講演番号3p-Q-19、317頁)。積層するIII族窒化物半導体として窒化ガリウム(GaN)を例にすれば、六方晶のGaNの室温での禁止帯幅は3.39eV(電子ボルト)であり、立方晶のそれは3.29eVである。また、a軸の格子定数も六方晶では、3.18Åであるのに対し、立方晶のそれは4.51Åと大きく相違する。すなわち、同一成長層内に異なる結晶系が混在することは、その層が禁止帯幅及び格子定数を異にする半導体材料か

らなる混合体であることを意味する。これにより、このような結晶系が混在する層を発光層とする発光デバイスでは、発光波長の不均一性などの不具合が帰結される。発光デバイスのみならず、他のデバイスにおいても、六方晶／立方晶界面での格子定数の相違に因る不用意な格子歪みの発生などは、均質な半導体機能層を形成するのに障害となるのは自明である。

【0014】このように、緩衝層に立方晶の3C-SiCを用いると、その上層の積層体は六方晶と立方晶とが混在した不均質なものとなり、したがって、結晶形が統一された成長層を得る上では立方晶の3C-SiCも必ずしも緩衝層に適しているとはいえない。

【0015】Si基板上の緩衝層材料として、リン(燐)化硼素(化学式:BP)を利用する従来例もある(特開平2-275682号、特開平2-88381号及び特開平2-288388号公報明細書参照)。Si結晶上にBP単結晶膜を成膜できることは既に知られている(渋沢直哉、寺嶋一高、第28回結晶成長学会国内会議 講演番号28aB11(日本結晶成長学会誌、Vol. 24、No. 2(1997)、150頁参照))。BP層を利用する利点は、立方晶たるBPの格子定数(4.538Å)(赤崎勇編著、「III-V族化合物半導体」(1994年5月20日初版、(株)培風館発行)、148頁の表7.1参照)と立方晶の窒化ガリウム(格子定数=4.510Å)とのミスマッチ度が僅か0.6%であることにある。立方晶窒化ガリウムに対するこの格子不整合度の矮小さが故に、最近ではBPはレーザ光の発振モードを統一せんがための活性(発光)層を囲繞するサイドブロック(side block)層を構成する材料としても利用されるに至っている(特開平9-232685号公報明細書参照)。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】しかし、BPと、立方晶のGaNとは、格子整合性が良好であるとはいえず、完全な格子整合関係とはならず、僅かながらも格子不整合性が残存している。そして、この程度の格子不整合性を残存させたままで積層させていくと、この格子不整合性を原因として発生するミスフィット転位は、積層体構成層内の結晶欠陥密度をより拡大させるものとなり、結果的に各種のデバイス特性を阻害させてしまう。このため、緩衝層との間での格子整合性をほぼ完全なものとするのが極めて重要であることが分かってきた。

【0017】この発明は上記に鑑み提案されたもので、その上面に積層させる立方晶のIII族窒化物半導体層との整合性をほぼ完全なものとするができる緩衝層を有する積層構造体を提供することを目的とする。

【0018】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、請求項1に記載の発明は、基板上に積層して成る積層構造体において、立方晶の結晶基板と、上記結晶基板

上に形成したリン化硼素ガリウム混晶( $B_xGa_{1-x}P$ :  $0 \leq x \leq 1$ )から成る緩衝層と、上記緩衝層上に形成した、立方晶を主体とし一般構造式が $Al_pGa_qIn_rN_sM_{1-s}$ 層( $0 \leq p, q, r \leq 1, p+q+r=1, 0 < s \leq 1$ で記号Mは窒素以外の第V族元素を表す。)で表されるIII族窒化物半導体層と、を備えたことを特徴としている。

【0019】また、請求項2に記載の発明は、上記した請求項1に記載の発明の構成に加えて、上記緩衝層を構成する第III族元素の組成に勾配を付した、ことを特徴としている。

【0020】また、請求項3に記載の発明は、上記した請求項1に記載の発明の構成に加えて、上記緩衝層は、緩衝層を構成する第III族元素の組成比を異にする層を重ねさせて成る、ことを特徴としている。

【0021】さらに、請求項4に記載の発明は、基板上に積層して成る積層構造体において、立方晶の結晶基板と、上記結晶基板上に形成したリン化窒化硼素混晶( $BN_zP_{1-z}$ :  $0 \leq z \leq 1$ )から成る緩衝層と、上記緩衝層上に形成した、立方晶を主体とし一般構造式が $Al_pGa_qIn_rN_sM_{1-s}$ 層( $0 \leq p, q, r \leq 1, p+q+r=1, 0 < s \leq 1$ で記号Mは窒素以外の第V族元素を表す。)で表されるIII族窒化物半導体層と、を備えたことを特徴としている。

【0022】また、請求項5に記載の発明は、上記した請求項4に記載の発明の構成に加えて、上記緩衝層を構成する第V族元素の組成に勾配を付した、ことを特徴としている。

【0023】さらに、請求項6に記載の発明は、上記した請求項4に記載の発明の構成に加えて、上記緩衝層は、緩衝層を構成する第V族元素の組成比を異にする層を重ねさせて成る、ことを特徴としている。

【0024】また、請求項7に記載の発明は、基板上に積層して成る積層構造体において、立方晶の結晶基板と、上記結晶基板上に、リン化硼素ガリウム混晶( $B_xGa_{1-x}P$ :  $0 \leq x \leq 1$ )から成る第1の緩衝層と、リン化窒化硼素混晶( $BN_zP_{1-z}$ :  $0 \leq z \leq 1$ )から成る第2の緩衝層とを適宜に重ねさせて形成した緩衝層と、上記緩衝層上に形成した、立方晶を主体とし一般構造式が $Al_pGa_qIn_rN_sM_{1-s}$ 層( $0 \leq p, q, r \leq 1, p+q+r=1, 0 < s \leq 1$ で記号Mは窒素以外の第V族元素を表す。)で表されるIII族窒化物半導体層と、を備えたことを特徴としている。

【0025】

【発明の実施の形態】以下にこの発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。図1及び図2はこの発明の積層構造体の構成を概略的に示す図である。図1において、この発明の積層構造体(エピタキシャルウェハ)10aは、立方晶の結晶基板1と、その結晶基板1上に形成したリン化硼素ガリウム混晶( $B_xGa_{1-x}P$ :  $0 \leq$

$x \leq 1$ ) から成る緩衝層 21 と、その緩衝層 21 上に形成した、立方晶を主体とし一般構造式が  $Al_pGa_qIn_rN_sM_{1-s}$  層 ( $0 \leq p, q, r \leq 1, p+q+r=1, 0 < s \leq 1$  で記号 M は窒素以外の第 V 族元素を表す。) で表される III 族窒化物半導体層 3 と、を備えて成る積層構造体である。

【0026】また、図 2 に示すように、この発明の積層構造体 10b は、図 1 の積層構造体 10a におけるリン化硼素ガリウム混晶から成る緩衝層 21 に代えて、結晶基板 1 上にリン化窒化硼素混晶 ( $BN_zP_{1-z}; 0 \leq z \leq 1$ ) から成る緩衝層 22 を設けて成るものである。

【0027】まず、積層構造体 10a、10b における結晶基板 1 について説明する。結晶基板 1 は、上記したように、結晶系を立方晶とする基板である。これは、下地層から立方晶の材料を利用することにより、基板 1 上に重層する半導体層 3 の結晶系を立方晶優勢とするためである。この結晶基板 1 の立方晶半導体の結晶構造の代表的な例には、面心立方格子を有するダイヤモンド (diamond) 型構造や閃亜鉛鉱 (zinc blend) 型構造がある。珪素 (Si) はダイヤモンド型の半導体結晶である。リン化ガリウム (化学式: GaP)、砒化ガリウム (化学式: GaAs)、リン化インジウム (化学式: InP) や砒化インジウム (化学式: InAs) 等の III-V 族化合物半導体は閃亜鉛鉱型の半導体結晶である。

【0028】結晶基板 1 として用いることのできる立方晶結晶には、他に酸化マグネシウム (化学式: MgO)、酸化マンガン (化学式: MnO)、酸化ニッケル (化学式: NiO) や酸化コバルト (化学式: CoO) 等の岩塩構造型の酸化物がある。ペロブスカイト型のニオブ酸リチウム (化学式:  $LiNbO_3$ ) やタンタル酸リチウム (化学式:  $LiTaO_3$ ) などの酸化物結晶も用いることのできる立方晶である。さらに、 $LiGaO_2$  や  $LiAlO_2$  などの酸化物結晶も立方晶結晶であり、基板 1 として利用できる。ニッケル (元素記号: Ni) 等の等軸立方格子の金属結晶も基板 1 として利用できる。

【0029】上記の酸化物結晶は劈開性がないか明瞭な劈開性を呈しないため (「SiC 及び関連ワイドギャップ半導体研究会第 5 回講演会 (1996 年 10 月 31 日 ~ 11 月 1 日) 予稿集、講演番号 IV-3、20 ~ 21 頁参照)、レーザーダイオードの共振面を作製するのが困難となる場合がある。劈開性の保有、基板表面の研磨技術、清浄化技術や大口径単結晶の製造技術等の実用上の技術水準の観点から総合的に判断すれば、ダイヤモンド型構造を有する珪素 (Si) や閃亜鉛鉱型の砒化ガリウム (GaAs)、リン化ガリウム (GaP) やリン化インジウム (InP) 等の半導体結晶が実用上、本発明に係わる立方晶の基板 1 として実用的に利用できるものである。また、このような面心立方晶結晶の上に立方晶の

半導体層を積層させた構成から成る構造体も基板 1 として利用することができる。

【0030】デバイスを駆動するための駆動回路や信号の入出力を制御するための回路等を描画した Si や GaAs 結晶も基板 1 として利用できる。このような描画回路を有する立方晶の半導体結晶基板 1 を利用すれば、同一基板上に複合化されたデバイスを形成することができる。この複合化されたデバイスの一例として、Si 基板上に LD と PD、それらを駆動、制御するための素子、動作状況を記録、記憶するための記憶素子などを形成したものがある。

【0031】基板 1 の材料の導電形や導電率 (抵抗率) は特に限定しない。例えば、硼素 (元素記号: B) を添加 (ドーピング) した p 形珪素単結晶や、砒素をドーピングした n 形珪素単結晶を基板 1 として利用できる。

【0032】MODFET 等の、導電性活性層と基板結晶とを電気的に絶縁する必要性が求められる電子デバイスにあっては、比抵抗 (抵抗率) を数  $\Omega \cdot \text{cm}$  程度或いはそれ以上とする高抵抗のアンドープ珪素単結晶基板や約  $10^5 \Omega \cdot \text{cm}$  を越える半絶縁性の砒化ガリウム単結晶も基板 1 として利用可能である。

【0033】基板 1 とする結晶表面の面方位についても特別な限定はない。例えば、 $\{011\}$  方向への傾斜角度を  $\pm 10$  度以内とする  $\{001\}$  面を有する硼素、砒素或いは磷を添加した導電性の単結晶珪素が基板 1 として利用できる。亜鉛ドーブの p 形、或いは珪素ドーブの n 形砒化ガリウム単結晶も基板 1 として好適である。

【0034】次に、緩衝層 21、22 について説明する。上記したように、緩衝層 21 は、リン化硼素ガリウム混晶 ( $B_xGa_{1-x}P; 0 \leq x \leq 1$ ) から構成し、緩衝層 22 は、リン化窒化硼素混晶 ( $BN_zP_{1-z}; 0 \leq z \leq 1$ ) から構成する。

【0035】リン化硼素ガリウム混晶から緩衝層 21 を、またリン化窒化硼素混晶から緩衝層 22 を構成する第 1 の利点は、これらのリン化硼素ガリウム混晶及びリン化窒化硼素混晶が立方晶、特に閃亜鉛鉱型の結晶材料であることに依っている。すなわち、結晶型の観点からして、緩衝層 21、22 上に積層する III 族窒化物半導体層 3 を立方晶を主体とする構成とするに優位に作用するからである。ここで、立方晶を主体とするとは、成長層内で占有する立方晶結晶相の体積比率が、概ね 95% を越えることを指す。

【0036】第 2 の利点は、リン化硼素ガリウム混晶において、その第 III 族構成元素であるガリウムと硼素との組成比を調整すれば、緩衝層 21 の格子定数を任意に制御することができ、またリン化窒化硼素混晶において、その第 V 族構成元素である窒素とリンとの組成比を調整すれば、緩衝層 22 の格子定数を任意に制御することができることである。したがって、例えば、これらの

緩衝層 21、22 の格子定数を、その上に積層させる II

Ⅰ族窒化物半導体層 3 の持つ格子定数に合わせるように組成比を調整すれば、緩衝層 21、22 とⅢ族窒化物半導体層 3 との間の格子整合性をほぼ完全なものとする事ができる。また、これらの緩衝層 21、22 の格子定数を、基板 1 の持つ格子定数に合わせるように組成比を調整すれば、基板 1 と緩衝層 21、22 との間の格子整合性をほぼ完全なものとする事ができる。

【0037】次に、上記の緩衝層 21、22 における格子定数制御について、詳細に説明する。

【0038】先ず緩衝層 21 の格子定数について説明すると、リン化硼素ガリウム混晶 ( $B_xGa_{1-x}P$ ) での硼素組成比  $x=1$  の場合に相当するリン化硼素 (BP) は、閃亜鉛鉱型の立方晶であり、その格子定数は 4.538 Å である。また、 $B_xGa_{1-x}P$  混晶での硼素組成比  $x=0$  の場合に相当するリン化ガリウム (GaP) は、同様に閃亜鉛鉱型の立方晶であり、その格子定数は 5.449 Å である。したがって、 $B_xGa_{1-x}P$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) 混晶の取り得る格子定数 L1 の範囲は、図 3 に示すように、4.538 Å 以上で 5.449 Å 以下となり、またこの格子定数 L1 は組成比  $x$  に対して直線的に変化するものである。

【0039】一方、Si 基板 1 の格子定数は、5.4309 Å である。したがって、上記の  $B_xGa_{1-x}P$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) 混晶が取り得る格子定数の範囲にある。このことは、 $B_xGa_{1-x}P$  混晶が硼素の組成比  $x$  若しくはガリウムの組成比  $(1-x)$ 、即ち、第Ⅲ族構成元素の組成比如何によって Si 基板 1 と一致する格子定数を採れることを意味している。硼素組成比  $x$  を 0.02 (2%) とする  $Bo_{0.02}Ga_{0.98}N$  混晶の格子定数は、ベガード (Vegard) 則に基づいて単純な線形補間から求めると 5.4309 Å となる。したがって、具体的には、硼素組成比  $x$  を 0.02 とすることをもって、Si 基板 1 と格子整合を果たす BGaP 緩衝層 21 が得られる。また、硼素組成比  $x$  を 0 (零) とすれば、当然ながら GaP と格子整合する。即ち、緩衝層 21 を  $B_xGa_{1-x}P$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) 混晶から構成すれば、立方晶の基板材料として実用的な Si や GaP と格子整合の関係にある緩衝層が得られる利点がある。

【0040】次に緩衝層 22 の格子定数について説明すると、リン化窒化ガリウム混晶層 ( $BN_zP_{1-z}$  ( $0 \leq z \leq 1$ )) での窒素組成比  $z=0$  の場合に相当するリン化硼素 (BP) は、上記したように、閃亜鉛鉱型の立方晶であり、その格子定数は、4.538 Å である。また、 $BN_zP_{1-z}$  混晶での窒素組成比  $z=1$  の場合に相当する窒化硼素 (BN) は、立方晶であり、その格子定数は、3.615 Å である。したがって、 $BN_zP_{1-z}$  ( $0 \leq z \leq 1$ ) 混晶の取り得る格子定数 L2 の範囲は、図 4 に示すように、3.615 Å 以上で 4.538 Å 以下となり、またこの格子定数 L2 は組成比  $z$  に対して直線的に変化するものである。

【0041】上記した  $BN_zP_{1-z}$  ( $0 \leq z \leq 1$ ) 混晶が取り得る格子定数の範囲内には、立方晶の GaN (格子定数 = 4.51 Å) や、閃亜鉛鉱型立方晶の BP (格子定数 = 4.538 Å)、立方晶の BN (格子定数 = 3.615 Å) などがあり、これらの GaN、BP、BN は基板 1 として採用可能である。このことは、 $BN_zP_{1-z}$  混晶は、窒素組成比  $z$  或いはリン組成比  $(1-z)$  如何に依って、これらの立方晶の基板 1 にほぼ完全に格子整合できることを意味している。例えば、窒素組成比  $z$  を 0.03 (3%) とする  $BN_{0.03}P_{0.97}$  混晶の格子定数は 4.51 Å であり、したがって、 $BN_{0.03}P_{0.97}$  混晶は、立方晶の GaN からなる基板 1 に格子整合する緩衝層の構成材料として利用できる。

【0042】この発明に係る実施形態では、さらに、緩衝層 21、22 を組成勾配層として形成するようにしてもよい。すなわち、緩衝層 21 においては、その第Ⅲ族構成元素である硼素の組成比  $x$  に、基板 1 からⅢ族窒化物半導体層 3 に向けての層厚  $t$  に対して、図 5 に示すような勾配を付し、組成勾配層とする。また、緩衝層 22 においては、その第Ⅴ族構成元素である窒素の組成比  $z$  に、基板 1 からⅢ族窒化物半導体層 3 に向けての層厚  $t$  に対して、図 6 に示すような勾配を付し、組成勾配層とする。このように、組成勾配を付すことをもって、基板 1 及びⅢ族窒化物半導体層 3 との双方の接合界面で格子整合関係を果たせる緩衝層 21、22 を得ることができる。

【0043】一例として、Si 単結晶から成る基板 1 上に、 $GaN_{0.87}As_{0.13}$  混晶からなるⅢ族窒化物半導体層 3 を積層する場合を挙げる。この場合、基板 1 との接合界面側で硼素組成比  $x$  を 0.02 とし、Ⅲ族窒化物半導体層 3 との接合界面で硼素組成比  $x$  を 0.13 とする  $B_xGa_{1-x}P$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) 組成勾配層は、Si 基板 1 と  $GaN_{0.87}As_{0.13}$  混晶から成るⅢ族窒化物半導体層 3 との双方に格子整合する緩衝層として好ましく利用できる。

【0044】また、GaP 単結晶から成る基板 1 上の、硼素組成比  $x$  を層厚  $t$  の増加方向に 0 から 1 に増加させてなる  $B_xGa_{1-x}P$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) 組成勾配層は、基板 1 と、 $GaN_{0.02}As_{0.98}$  混晶から成るⅢ族窒化物半導体層 3 との双方との接合界面で格子整合関係にある緩衝層として利用できる。

【0045】また、格子定数を 4.538 Å とする BP から成る結晶上の、窒素組成比  $z$  を層厚の増加方向に 0 から増加させてなる  $BN_zP_{1-z}$  ( $0 \leq z \leq 1$ ) 組成勾配層は、BP 結晶層と、立方晶 AlN (格子定数 = 4.38 Å) から成るⅢ族窒化物半導体層との双方の接合界面で格子整合する緩衝層として利用できる。

【0046】上記では、緩衝層 21、22 における組成勾配を、層厚  $t$  の増加方向に対して単調に増加するものとして説明したが、この組成勾配は、要は基板 1 とⅢ



族窒化物半導体層 3 との双方に格子整合するように付すものであり、したがって、単調に増加させる構成に限定されない。例えば、緩衝層 21, 22 の層厚  $t$  の増加方向に対して単調に減少させるように構成してもよい。また、緩衝層 21 における第 III 族構成元素の組成比  $x$  を階段状に増減させ、図 7 に示すように、組成比  $x$  を異にする層 21a, 21b, ... を重層させ、その重層緩衝層 21a, 21b, ... によって積層構造体 10c を構成するようにしてもよい。同様に、緩衝層 22 における第 V 族構成元素の組成比  $z$  を階段状に増減させ、図 8 に示すように、組成比  $z$  を異にする層 22a, 22b, ... を重層させ、その重層緩衝層 22a, 22b, ... によって積層構造体 10d を構成するようにしてもよい。

【0047】この発明に係る実施形態では、上記の組成勾配を付した緩衝層 21, 22 を組み合わせて新たな緩衝層を構成することも可能である。例えば、図 9 に示すように、Si 単結晶から成る基板 1a の表面上に、基板 1a との接合面での硼素組成比  $x$  を 0.02 (2%) とし、表面面での硼素組成比  $x$  を 1 とする  $B_xGa_{1-x}P$  混晶から成る組成勾配を付した第 1 の緩衝層 21m を堆積する。次に、第 1 の緩衝層 21m との接合面で窒素組成比  $z$  を 0 とし、表面面での窒素組成比  $z$  を 0.03 とする  $BN_xP_{1-x}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) 混晶からなる組成勾配を付した第 2 の緩衝層 22m を重層する。このような組成勾配を付した緩衝層 21m, 22m を形成することによって、Si 基板 1a との接合面での格子定数は 5.4309 Å となって Si 基板 1a の格子定数に一致し、表面での格子定数は 4.5100 Å となって、その上に積層させる III 族窒化物半導体層としての立方晶の GaN 層 3a の格子定数に一致し、全体としてほぼ完全な格子整合を有する積層構造体 10e を構成することができる。

【0048】上記のように、材料が異なる緩衝層 21m, 22m を重層させて新たな緩衝層 23 を構成することにより、基板 1 及び III 族窒化物半導体 3 の各材料の選択の幅を広げることができる。例えば、上記の例では、Si 単結晶基板 1a 上に  $B_xGa_{1-x}P$  混晶からなる緩衝層を単独に設けても、立方晶の GaN (格子定数 = 4.51 Å) に格子整合する緩衝層は形成できない。 $B_xGa_{1-x}P$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) が取り得る最小の格子定数は 4.538 Å (BP の格子定数) であるからである。しかし、上記した例の如く、 $BN_xP_{1-x}$  混晶からなる緩衝層を重層させれば、基板 1a である Si と III 族窒化物半導体層 3a である立方晶 GaN との双方に格子整合する緩衝層となる。即ち、単結晶の Si を基板として採用する場合であっても、格子整合関係を持しながら Si 基板に積層できる III 族窒化物半導体層の材料の種類を多くできる利点をもたらす。

【0049】逆に、緩衝層上に積層する III 族窒化物半導体層を立方晶の GaN から構成することが決定されている場合、上記の例では、Si 単結晶基板 1a のみならず、GaP からなる基板に格子整合する緩衝層を構成することができる。即ち、基板材料の選択の幅を広げることができる。

【0050】上記の例では、緩衝層 23 の各層に組成勾配を付すようにしたが、少なくとも一つの層にのみ組成勾配を付すように構成してもよいし、各層に組成勾配を付さないで重層させる構成としてもよく、要は基板 1 と III 族窒化物半導体層 3 との双方に格子整合する構成であればよい。また、緩衝層 23 を二層で形成したが、それ以上の多層構造に形成することもできる。

【0051】図 1 及び図 2 に戻って、緩衝層 21, 22 の層厚について説明する。緩衝層 21, 22 の層厚等の機械的な構成については、特に厳密な規定はない。緩衝層 21, 22 を、立方晶を主体とする III 族窒化物半導体層 3 の成長を誘発するための成長層として利用するならば、緩衝層 21, 22 は、数 Å 程度の単原子層でも効果を発揮できる。

【0052】逆に、数  $\mu m$  程度の比較的厚い膜も緩衝層 21, 22 として利用され得る。このように、緩衝層 21, 22 を厚くできるのは、次の理由によるものである。すなわち、本発明の緩衝層 21, 22 は、第 III 族或いは第 V 族の構成元素の組成に変化を与えることにより、立方晶の基板 1 と格子整合させることができ、尚且、徐々に格子定数に変化を与えることができる。したがって、従来の単一の組成からなる緩衝層に比較すれば、基板 1 或いは III 族窒化物半導体層 3 との間の格子不整合性に起因して、緩衝層に亀裂 (クラック) が必然的に発生する事態を抑制することができるからである。

【0053】例えば、比較的厚い半導体層の成長も可能なハロゲン (halogen) 或いはハイドライド (hydride) VPE 法で、百数十  $\mu m$  程度に厚く成長した緩衝層 21, 22 でも、表面には亀裂の発生が殆ど認められない。基板 1 と格子整合を果たし、層厚を大としても表面に亀裂が殆ど発生しない本発明の緩衝層 21, 22 は、下記のように、所謂高輝度の発光デバイスの形成にも優位に働く。

【0054】先ず、Si 単結晶から成る基板 1 上に、数十  $\mu m$  から数百  $\mu m$  の緩衝層 21, 22 を成膜する。この Si 単結晶は、禁止帯幅が約 1.1 eV と小さいため、可視短波長光に対して不透明な材料である。次に、緩衝層 21, 22 の表面上に緩衝層 21, 22 と格子整合を果たす III 族窒化物半導体層 3 を積層させ、積層構造体 10a, 10b を完成させる。然る後、基板 1 を化学的な溶解等の手段により除去する。本発明では、緩衝層 21, 22 を亀裂の発生を伴うことなく厚膜とすることができるため、基板 1 を除去して厚膜の緩衝層 21, 22 自体を支持基体としても積層構造体 10a, 10b の支持に然したる支障が帰結されることはなく、積層構造体 10a, 10b は緩衝層 21, 22 によって支持され得る。このことは即ち、所謂



「基板除去法」を利用して、発光の吸収体たる基板材料を除去し、高輝度の発光デバイスを得ることができる優位性が帰結されることを意味している。

【0055】次に、緩衝層 21、22 の導電性について説明する。この緩衝層 21、22 の導電性についても特に規定はなく、デバイスの果たす機能に鑑み、またデバイスを駆動する電流の通流方向に鑑み決定すれば良い。ドナー性不純物或いはアクセプタ性不純物を故意に添加（ドーピング）した n 形伝導性或いは p 形伝導性を有する層が緩衝層 21、22 として利用できる。n 形導電性の緩衝層、例えば n 形の  $\text{BN}_x\text{P}_{1-x}$  混晶（ $0 \leq x \leq 1$ ）22 は、成膜時に Si や錫（元素記号：Sn）などの第 IV 族不純物やセレン（元素記号：Se）、硫黄（元素記号：S）等の第 VI 族不純物をドーピングすれば得られる。また、p 形導電性の緩衝層、例えば p 形の  $\text{BN}_x\text{P}_{1-x}$  混晶 22 は、第 II 族不純物の亜鉛（元素記号：Zn）やマグネシウム（元素記号：Mg）或いは第 IV 族の炭素（元素記号：C）をドーピングして得られる。これらの不純物は、導電性の指標となるキャリア濃度が約  $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  から概ね  $10^{19} \text{cm}^{-3}$  を越える程度の範囲内となるようにドーピングするのが良い。

【0056】成膜時にドーピングするのではなく、成膜後に上記の不純物をイオン注入法で注入したる後、活性化アニール（anneal）を施しても、n 形或いは p 形緩衝層 21、22 は形成される。例えば、質量数を 28 或いは 29 とし原子価を 1 価或いは 2 価とする Si イオンの注入は、n 形の緩衝層 21、22 を得るのに利用できる。Zn イオンの注入は p 形の緩衝層 21、22 を得るのに利用できる。イオン注入法に依る場合、キャリア濃度はイオンの注入量、所謂ドーズ（dose）量をもって調節できる。好ましく利用できるドーズ量の範囲は通常、大凡、 $1 \times 10^{11} \text{cm}^{-2} \sim 5 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$  程度の範囲である。キャリア濃度の深さ方向（層厚方向）の分布状況は、イオンの加速電圧をもって制御できる。約 30 キロボルト（KV）～約 400 KV の加速電圧が一般的に利用されている。加速電圧に制限がある場合などは、1 価のイオンに代替して、同一元素の 2 価イオンを注入する手法を選択すれば、加速電圧は 1 価イオンの場合の半分で済ますことができる。イオンの価数と加速電圧との積値で与えられる加速エネルギーが同一であれば、注入原子の深さ方向の分布状況には然したる相違は帰結されない。

【0057】基板 1 の裏面側に電極を敷設することを意図して導電性材料を基板 1 とするデバイスにあっては、緩衝層 21、22 も導電性を有する材料から構成する。

【0058】デバイスに依っては、不純物を敢えてドーピングしていないアンドープ（undoped）若しくは電気的に補償（compensation）するように不純物ドーピングを施した高抵抗の層を緩衝層 21、22 として利用する。鉄（元素記号：Fe）、クロム（元

素記号：Cr）やバナジウム（元素記号：V）等の遷移金属をドーピングしても高抵抗の緩衝層 21、22 を得ることができる。成膜後に緩衝層 21、22 内に水素イオン（ $\text{H}^+$ ）（プロトン）などを注入することによっても高抵抗の緩衝層となすことができる。基板 1 と積層構成層 3 とのアイソレーション（isolation）を要求するデバイスには、高抵抗或いは絶縁性の緩衝層 21、22 を利用するのが望ましい。電界効果型トランジスタ（英略称：FET）などのマイクロ波デバイスにあっては、緩衝層 21、22 は約  $10^4 \Omega \cdot \text{cm}$  を越える高抵抗率であるのが望ましい。

【0059】次に、III 族窒化物半導体層 3 について説明する。緩衝層 21、22 上には、上記したように、立方晶を主体とする  $\text{Al}_p\text{Ga}_q\text{In}_r\text{N}_s\text{M}_{1-s}$ （ $0 \leq p, q, r \leq 1, p+q+r=1, 0 < s \leq 1$  で記号 M は窒素以外の第 V 族元素を表す。）から成る III 族窒化物半導体層 3 を積層させて積層構造体 10a、10b を形成する。ここで、立方晶を主体とするとは、一結晶層内部で占有する立方晶結晶相の体積比率が概ね、95% を越えることを指す。

【0060】上記の III 族窒化物半導体層 3 を形成する材料は、立方晶を主体とする GaN、窒化アルミニウム（化学式： $\text{AlN}$ ）や窒化インジウム（化学式： $\text{InN}$ ）等の 2 元結晶（2 元素結晶）である。また、立方晶を主体とする窒化アルミニウム・ガリウム混晶（ $\text{Al}_a\text{Ga}_b\text{N}$ ： $0 \leq a, b \leq 1, a+b=1$ ）であり、立方晶を主体とする窒化ガリウム・インジウム混晶（ $\text{Ga}_b\text{In}_c\text{N}$ ： $0 \leq b, c \leq 1, b+c=1$ 、）であり、また立方晶を主体とする窒化アルミニウム・インジウム混晶（ $\text{Al}_a\text{In}_c\text{N}$ ： $0 \leq a, c \leq 1, a+c=1$ ）である。また、窒化アルミニウム・ガリウム・インジウム系混晶（ $\text{Al}_a\text{Ga}_b\text{In}_c\text{N}$ ： $0 \leq a, b, c \leq 1, a+b+c=1$ ）である。更に、砒化窒化ガリウム混晶（化学式： $\text{GaAsN}$ ）、リン化窒化アルミニウム混晶（化学式： $\text{AlNP}$ ）などである。即ち、本発明ではこれらを統括して一般式  $\text{Al}_p\text{Ga}_q\text{In}_r\text{N}_s\text{M}_{1-s}$ （ $0 \leq p, q, r \leq 1, p+q+r=1, 0 < s \leq 1$  で記号 M は窒素以外の第 V 族元素を表す。）で表記する。インジウムを含む混晶にあっては、被熱に因るインジウムの凝縮等によりインジウム組成比が均一で組成的に均質な混晶層とは成り難い場合があるが、此处では、インジウム組成比の均質性に拘わらず便宜上、混晶層と称する。

【0061】上記の III 族窒化物半導体層 3 を構成する各層は、n 形、p 形、あるいは高抵抗の i 形のいずれでもよい。例えば、マグネシウム（元素記号：Mg）や亜鉛（元素記号：Zn）或いはベリリウム（元素記号：Be）などの第 II 族元素をドーピング若しくは拡散してなる、或いはカルシウム（元素記号：Ca）をイオン注入してなる p 形  $\text{Al}_p\text{Ga}_q\text{In}_r\text{N}_s\text{M}_{1-s}$  混晶層と、Si などの第 IV 族元素、またはセレン（元素記号：Se）や

硫黄（元素記号：S）などの第Ⅵ族元素をドーピング或いはイオン注入してなるn形 $Al_pGa_qIn_rN_sM_{1-s}$ 混晶層を構成層として利用すれば、pn接合構成を内包する発光デバイス用途或いは大電力サイリスタ用途の積層構造体10a、10bを構築することができる。

【0062】基板1と、緩衝層21あるいは22とをいづれも高抵抗とし、その上に、Ⅲ族窒化物半導体層3として、 $Al_pGa_qIn_rN_sM_{1-s}$ 混晶からなるn形のチャネル層とn形のコンタクト層を積層してなる積層構造体10a、10bは、ショットキー（Schottky）接合型電界効果トランジスタ（MESFET）用途として利用することができる。n形チャネル層（電子走行層）とn形コンタクト層との中間に、さらに $Al_pGa_qIn_rN_sM_{1-s}$ から成るn形の電子供給層を配置してなる積層構造体10a、10bは、MESFETの中で特に、2次元電子ガスFET（TEGFET）用途として好ましく利用できる。

【0063】基板1を含めた上記の積層構造体10a、10bに、デバイス化のための加工や表面処理などを施した後、デバイス動作電源の入・出力用の電極を敷設することで、化合物半導体デバイスを形成する。この化合物半導体デバイスのうち、MESFETやMODFET（TEGFET）などのFET系デバイスは、ショットキー接合ゲート電極を配置するためのリセス（recess）加工を一般的な湿式若しくはプラズマエッチング法により施した後、ソース（source）及びドレイン（drain）電極をなすn形オーミック電極を配置すれば形成できる。また、LEDやLD等の発光デバイスにあっては、pn接合からなる発光部をメサ（mesa）型に残置するメサ加工を施し、p形及びn形双方のオーミック電極を設けて形成する。

【0064】本発明では、基板1を立方晶とするため、この基板1に導電性材料を使用することができるようになる。上記のLEDやLD等の発光デバイスにあって、導電性の基板1を利用すれば、基板1の裏面側に一方のオーミック電極を敷設できるようになる。電気的な絶縁体であるサファイアを基板とする従来のLEDやLDでは、p形、n形の双方の電極を同一主面側に設置する必要性から一電極（多くはn側電極）の形成に必要な面積を発光層から削除する必要があった（Jpn. J. Appl. Phys.、34（1995）、L1332～L1335頁参照）。この実施形態では、n側及びp側電極の何れか一方のオーミック電極を基板1の裏面側に敷設できるため、発光面積（pn接合面積）を徒に削除する必要もなくなり、したがって、発光面積の削減を回避でき、同一のチップサイズに於いて発光面積を大とする発光デバイスを作製できるようになる。

【0065】p形のオーミック電極は、ニッケル（Ni）、パラジウム（元素記号：Pd）、銀（元素記号：Ag）、白金（元素記号：Pt）、金（元素記号：A

u）、金・亜鉛（Au・Zn）合金や金・ベリリウム（Au・Be）合金などから構成できる。n形オーミック電極は、アルミニウム（元素記号：Al）、チタン（元素記号：Ti）、クロム（元素記号：Cr）やインジウム（元素記号：In）などの金属材料から構成できる。

【0066】上記した本発明に係る積層構造体10a、10bを構成するには、立方晶の結晶材料からなる基板1表面上に、下記（a）～（e）に記載のエピタキシャル成膜手段により、緩衝層21（22）、及びⅢ族窒化物半導体層3を成長させる。

（a）ホスフィン（化学式： $PH_3$ ）、アンモニア（化学式： $NH_3$ ）やジボラン（化学式： $B_2H_6$ ）などを第Ⅴ族元素の原料とし、トリメチルガリウム（化学式： $(CH_3)_3Ga$ ）等の有機金属化合物をⅢ族元素の原料とする常圧（大気圧）或いは減圧有機金属熱分解気相成長（MOCVD）法（MOVPE法或いはOMVPE法などとも称される。）

（b）三塩化砷素（化学式： $AsCl_3$ ）や三塩化碲素（化学式： $BCl_3$ ）等の第Ⅴ族元素の塩化物と金属ガリウム（元素記号：Ga）を原料とするハライド気相成長（VPE）法

（c）アルシン、アンモニアやジボラン等の第Ⅴ族元素の水素化合物と金属ガリウムなどを原料とするハイドライド（hydride）VPE法

（d）金属ガリウムと砷素などを原料とする分子線エピタキシャル成長（MBE）法

（e）アンモニアやヒドラジン等のガス状原料と金属原料を使用するガスソース（gas-source）MBE法など。

【0067】以上述べたように、この発明に係る実施形態では、基板1上に積層して成る積層構造体10aを、立方晶の結晶基板1と、その結晶基板1上に形成したリン化碲素ガリウム混晶から成る緩衝層21と、その緩衝層21上に形成したⅢ族窒化物半導体層3と、から構成したので、緩衝層21は、基板1とⅢ族窒化物半導体層3との間の格子不整合性を緩和し、また、Ⅲ族窒化物半導体層3の結晶系を立方晶を主体とする層となす作用を積極的に有し、このため、当該積層構造体10aの全体を格子整合性の良好な立方晶を主体とする構成とすることができる。

【0068】そして、立方晶で全体を構成できるので、圧電効果が発生し難くなり、この積層構造体10aからデバイスを形成したとき、そのデバイスとしての高速応答性を確保する上で、大きく貢献することができる。

【0069】また、立方晶であるため、低抵抗のp形伝導層を容易に形成することができ、したがって、pn接合構造を必要とする、例えばLEDやLD等の光デバイスや大電力サイリスタなどの電子デバイスをも容易に形成できるようになる。

【0070】また、緩衝層 21 をリン化硼素ガリウム混晶から構成したので、硼素の組成比  $x$  を調整することで、格子定数を任意に制御することができ、したがってその上に積層させた III 族窒化物半導体層 3 との間ではほぼ完全な格子整合性を持たせることができ、結晶欠陥の少ない良質の活性層等の機能層を備えた積層構造体 10a をもたらし、デバイスとしての諸特性も大幅に向上させることができる。例えば、発光デバイスにあっては、発光強度等の発光特性に優れた発光デバイスを得ることができ、FET デバイスにあっては、活性層たるチャネル層の結晶性の向上に起因して高い移動度が発現され、相互コンダクタンス（所謂、 $g_m$ ）等の重要特性の向上を可能とする。

【0071】また、緩衝層 21 を構成する硼素の組成比  $x$  に勾配を付したので、緩衝層 21 は、III 族窒化物半導体層 3 のみでなく、基板 1 側との間でもほぼ完全な格子整合性を持つことができ、したがって、当該積層構造体 10a の全体をほぼ完全な格子整合性のもとで構築することができる。

【0072】さらに、緩衝層 21 を、当該緩衝層 21 を構成する硼素の組成比  $x$  を異にする層 21a、21b…を重層させて構成したので、格子定数の異なる層を重層させることにより、緩衝層 21 内に格子定数の異なる結晶歪を内包させることとなり、したがって、上層の III 族窒化物半導体層 3 に転位等の結晶欠陥が伝搬するのを防止でき、結晶性に優れた III 族窒化物半導体層 3 を積層させることができる。

【0073】また、この発明に係る実施形態では、基板 1 上に積層して成る積層構造体 10b を、立方晶の結晶基板 1 と、その結晶基板 1 上に形成したリン化窒化硼素混晶から成る緩衝層 22 と、その緩衝層 22 上に形成した III 族窒化物半導体層 3 と、から構成したので、緩衝層 22 は、基板 1 と III 族窒化物半導体層 3 との間の格子不整合性を緩和し、また、III 族窒化物半導体層 3 の結晶系を立方晶を主体とする層となす作用を積極的に有し、このため、当該積層構造体 10b の全体を立方晶を主体とする構成とすることができる。

【0074】そして、立方晶で全体を構成できるので、上記の積層構造体 10a の場合と同様の効果を奏する。

【0075】すなわち、圧電効果が発生し難くなり、この積層構造体 10b からデバイスを形成したとき、そのデバイスとしての高速応答性を確保する上で、大きく貢献することができる。また、立方晶であるため、低抵抗の p 形伝導層を容易に形成することができ、したがって、pn 接合構造を必要とする、例えば LED や LD 等の光デバイスや大電力サイリスタなどの電子デバイスをも容易に形成できるようになる。

【0076】また、緩衝層 22 をリン化窒化硼素混晶から構成したので、窒素の組成比  $z$  を調整することで、格子定数を任意に制御することができ、したがってその上

に積層させた III 族窒化物半導体層 3 との間ではほぼ完全な格子整合性を持たせることができ、結晶欠陥の少ない良質の活性層等の機能層を備えた積層構造体 10b をもたらし、デバイスとしての諸特性も大幅に向上させることができる。例えば、発光デバイスにあっては、発光強度等の発光特性に優れた発光デバイスを得ることができ、FET デバイスにあっては、活性層たるチャネル層の結晶性の向上に起因して高い移動度が発現され、相互コンダクタンス（所謂、 $g_m$ ）等の重要特性の向上を可能とする。デバイスとしての諸特性を大幅に向上させることができる。

【0077】また、緩衝層 22 を構成する窒素の組成比  $z$  に勾配を付したので、緩衝層 22 は、III 族窒化物半導体層 3 のみでなく、基板 1 側との間でもほぼ完全な格子整合性を持つことができ、したがって、当該積層構造体 10b の全体をほぼ完全な格子整合性のもとで構築することができる。

【0078】さらに、緩衝層 22 を、当該緩衝層 22 を構成する窒素の組成比  $z$  を異にする層 22a、22b…を重層させて構成したので、格子定数の異なる層を重層させることにより、緩衝層 22 内に格子定数の異なる結晶歪を内包させることとなり、したがって、上層の III 族窒化物半導体層 3 に転位等の結晶欠陥が伝搬するのを防止でき、結晶性に優れた III 族窒化物半導体層 3 を積層させることができる。

【0079】また、この発明に係る実施形態では、上記の緩衝層 21、22 を重層させて新たな緩衝層 23 を構成するようにしたので、緩衝層 23 はより幅広い格子定数を持つことができるようになり、したがって、その上下に接合させる基板 1 及び III 族窒化物半導体 3 をより多様な材料から選択しても、ほぼ完全な格子整合性の下で接合させることができるようになる。

【0080】上記の説明では、緩衝層 21（あるいは 22）の上に直接 III 族窒化物半導体層 3 を積層させるようにしたが、直接積層させず、図 10 に示すように、緩衝層 21（22）と略同一の組成を有する  $B_xGa_{1-x}P$  混晶（または  $BN_zP_{1-z}$  混晶）からなる下地層 41（42）を介して III 族窒化物半導体層 3 を積層させ、これにより積層構造体 10f を構成することもできる。この構成によると、緩衝層／下地層間が擬似的なホモ（homo）接合となるため、両層の接合界面でのミスフィットに起因する転位等の結晶欠陥の発生がより一層抑制でき、下地層 41（42）は、結晶欠陥密度の極めて小さい、結晶性において顕著に優れたものとなる。このような下地層 41（42）上には、下地層 41（42）の高品質性を受け継いで、より一層結晶欠陥の少ない品質の優れたクラッド層や活性（発光）層などの機能層を形成することができる。

【0081】次に、本発明の積層構造体及びその積層構造体から形成した化合物半導体デバイスについて、より

具体的な実施例を以て説明する。

#### 【0082】

【実施例】下記の各実施例では、先ずpn接合を含むヘテロ接合構造から成る積層構造体を形成し、次にその積層構造体からLEDを形成した。

【0083】(第1実施例)図11は第1実施例での積層構造体の断面構造を示す図である。この実施例では、緩衝層を $B_xGa_{1-x}P$ 混晶で形成する。図において、積層構造体100は、基板101上に積層して構成されている。基板101には、閃亜鉛鉱型の結晶構造を有し、抵抗率が約2ミリオーム・センチメートル( $m\Omega \cdot cm$ )で、{100}2°オフ(off)リン化ガリウム( $GaP$ )単結晶を用いた。

【0084】低抵抗で導電性の基板101の一主面上に、一般的な常圧(大気圧)MOCVD法により750℃に於いて水素気流中で $B_xGa_{1-x}P$ 混晶からなる低溫緩衝層121を堆積した。緩衝層121を構成する $B_xGa_{1-x}P$ ( $0 \leq x \leq 1$ )混晶の硼素(B)組成比xは、基板101との接合界面で0(零)とした。即ち、基板101表面に接する緩衝層121は、基板101と同じ $GaP$ とした。ジボラン(化学式: $B_2H_6$ )ノホスフィン(化学式: $PH_3$ )ノトリメチルガリウム(化学式: $(CH_3)_3Ga$ )からなるMOCVD反応系を利用して、20分間に亘り成膜を継続し、層厚を約200Åとする緩衝層121を成膜した。20分間に亘る成膜期間中に、MOCVD反応系に供給するガリウム( $Ga$ )源としたトリメチルガリウム( $(CH_3)_3Ga$ )に対する硼素源のジボランガス(10体積% $B_2H_6$ -90体積% $H_2$ )の供給比率を時間的に一律に減少させた。緩衝層121の成膜終了時には、トリメチルガリウムのMOCVD反応系への供給を停止してガリウムの組成比(1-x)を0(零)とし、逆に硼素の組成比xを1.0とした。この第III族構成元素の供給流量を変化させる操作により、緩衝層121の表面は、リン化硼素(BP)となった。緩衝層121の成膜に要した20分間には、ホスフィンガス(10体積% $PH_3$ -90体積% $H_2$ )及びジシランガスのMOCVD反応系への供給量は変化させず、一定に保った。また、成膜期間中に、体積濃度にして約5ppmのジシラン(化学式: $Si_2H_6$ )を含むジシラン-水素混合ガスをドーピングガスとして、硼素組成比xを層厚の増加方向に0から1.0に増加させた組成勾配を有する緩衝層121に珪素(Si)をドーピングした。このSiのドーピング操作により緩衝層121にn形の伝導性を付与した。

【0085】次に、緩衝層121に立方晶を主体とするIII族窒化物半導体層131, 132, 133を順次積層させた。すなわち、緩衝層121の成膜終了後、基板101の温度を750℃に維持したままで、上記の表面でBPとなった緩衝層121上に、水素気流中で砒素(As)組成比を0.02とする立方晶を主体とするn

形のSiドーブの砒化窒化ガリウム混晶( $GaN_{0.98}As_{0.02}$ )を下部クラッド層131として積層した。この下部クラッド層131の格子定数は4.533Åであり、緩衝層121を成すBPの格子定数4.538Åにほぼ一致している。下部クラッド層131の堆積時の砒素(As)原料としては、アルシン( $AsH_3$ )混合ガス(10体積% $AsH_3$ -90体積%水素)を利用した。Siのドーピング源には上記のジシラン-水素混合ガスを使用した。下部クラッド層131の層厚は約1.5μmとし、キャリア濃度は約 $2 \times 10^{18} cm^{-3}$ とした。

【0086】次に、750℃で下部クラッド層131上にインジウム組成比を0.06(6%)とするSiドーブ窒化ガリウム・インジウム混晶( $Ga_{0.94}In_{0.06}N$ )をn形発光層132として、トリメチルインジウム(化学式: $(CH_3)_3In$ )をインジウム(In)源とする常圧MOCVD法により積層させた。 $Ga_{0.94}In_{0.06}N$ 発光層132の層厚は、約70Åとし、キャリア濃度は約 $1 \times 10^{18} cm^{-3}$ とした。

【0087】さらに、750℃で常圧MOCVD法により、層厚を約1000ÅとしたMgをドーピングしたp形砒化窒化ガリウム混晶( $GaN_{0.98}As_{0.02}$ )を上部クラッド層133として、n形窒化ガリウム・インジウム混晶から成る発光層132上に積層させた。上部クラッド層133をなすp形 $GaN_{0.98}As_{0.02}$ 混晶層も立方晶を主体として構成されているため、正孔濃度も約 $1 \times 10^{18} cm^{-3}$ の高濃度に容易に到達した。

【0088】上部クラッド層133上には、亜鉛(Zn)をドーピングしたp形のリン化硼素(BP)からなるコンタクト層105を積層した。亜鉛は、ジエチル亜鉛(化学式: $(C_2H_5)_2Zn$ )を体積濃度にして約100ppm含むジエチル亜鉛-水素混合ガスをドーピング源としてドーピングした。Znドーブp形BPコンタクト層105の層厚は約500Åで、正孔濃度は約 $2 \times 10^{18} cm^{-3}$ とした。BPは元来、閃亜鉛鉱型の立方晶であるために容易に $10^{18} cm^{-3}$ を越える低抵抗層のp形層となった。

【0089】以上の積層操作により、立方晶である $GaP$ 単結晶基板101上に、基板101を構成する単結晶材料とも格子整合し、且つ下部クラッド層131とも格子整合を果たす、基板101と下部クラッド層131間の格子不整合を緩和するに効果を奏する緩衝層121を具備し、尚且、緩衝層121上に格子整合関係を保持しつつ積層してなるLED用途のpn接合型DH(ダブルヘテロ)構造の積層構造体100を形成した。

【0090】上記の積層構造体100を母体材料として短波長可視光を放射するLEDを作製した。図12は第1実施例でのLEDの断面構造を示す図である。図において、LED101は次の手順で形成した。先ず、基板101とした $GaP$ 単結晶の裏面側に、金(Au)・ゲ

10

20

30

40

50

ルマニウム (Ge) 合金 (Au 95 重量% : Ge 5 重量%) / Ni / Au の3層からなる金属膜を順次、一般的な真空蒸着法により被着させ、450℃で10分間のアロイ処理を水素雰囲気中で施してn形オーミック電極109を形成した。

【0091】次に、積層構造体100の最表層をなすp形のリン化硼素からなるコンタクト層105の表面上に、約2000Åの厚さの金 (Au) ・亜鉛 (Zn) 合金 (Au 97 重量% : Zn 3 重量%) 膜、約1000Åのニッケル (Ni) 膜、及び約1μmの金 (Au) 膜を順次、通常の真空蒸着法により被着した。一般的なフォトリソグラフィ技術を利用したパターンニング加工により、Au・Zn/Ni/Au 3層重層構成の金属被膜を、370μmの一定のピッチ (間隔) で直径120μmの円形状に残置させた。

【0092】然る後、コンタクト層105上に円形状に残置させた金属被膜を付した状態で、水素雰囲気内で450℃で2分間、アロイング処理 (合金化処理) を施した。このアロイ (alloy) 処理により、3層の金属被膜を重ねさせてなるp形オーミック電極108を形成した。

【0093】コンタクト層105の表面に、中心線間のピッチ (間隔) を370μmとし幅を20μmとした格子状のストライプ (帯状溝) を、一般的なフォトリソグラフィ技術によるパターンニングと湿式エッチング法を利用して描画した。格子状に直交するストライプは、GaPが劈開を呈する[011]方向に平行に設けた。また、ストライプは、上記の円形のp形オーミック電極108がそれらが区画する正方形の格子の中心に位置する様に設けた。

【0094】上記のストライプラインに沿って、ダイヤモンド製切削刃を付したカッターを走行させ、スクライプ (劈開) により、一辺を約350μmとする正方形のチップに分離した。元来、[011]方向に劈開性を有する閃亜鉛鉱型の等軸立方晶のGaP結晶を基板として使用したが故に、また、積層構成層も立方晶の結晶層から構成されているがために、積層構造体100を不必要なチップング (欠け) が発生しないように裁断するのは容易であった。

【0095】個別に分離したチップを、ステム (台座) に備えられた銀 (Ag) を被着して外部への発光の反射の効率を高めた円錐状の反射カップ (cup) の内部にマウント (支持) した。次に、一般的な半導体素子封止用の透明エポキシ (epoxy) 樹脂で円筒型の外形に囲繞し、LED101を形成した。

【0096】ステムに備え付けの陽極及び陰極用のリード端子を介して、LED101の上下に敷設したp形及びn形両オーミック電極間に順方向に動作電流を通流した。順方向への電流の通流により、LED101は青色発光を呈した。発光の中心波長は約4300Åであり、

発光スペクトルの半値幅は約70Åであった。近紫外帯領域に副次的な発光スペクトルは特に計測されず、単色性に優れる発光であった。順方向電流を20ミリアンペア (mA) とした際の発光出力は約840ミリカンデラ (mcd) と発光強度的にも優れたLEDとなった。順方向電圧は20mA通電時に約4.2ボルト (V) となった。以上により、本発明に係わる積層構造体100は、発光強度や発光の単色性などの発光特性に優れるLED101が帰結するものであることが提示された。

【0097】(実施例2) 図13は第2実施例での積層構造体を示す図である。この実施例では、緩衝層をBN<sub>z</sub>P<sub>1-z</sub>混晶で形成する。図において、積層構造体200は、基板201上に積層して構成されている。基板201は、下層の基板201aと表層側の基板201bとから成っている。すなわち、基板201aは、[011]方向に4°オフしたリンをドーピングしたn形{001}-Si単結晶であり、この基板201a表面上に、三塩化硼素 (BCl<sub>3</sub>) と三塩化リン (PCl<sub>3</sub>) を各々硼素及びリン源とする、一般的なVPE法により、厚さ約2μmのSiドーブn形BP層を800℃で堆積し、この閃亜鉛鉱型の結晶型を有するn形BP層を表層側の基板201bとした。

【0098】基板201bの一主面上には、一般的な常圧MOCVD法により800℃で閃亜鉛鉱型のBN<sub>z</sub>P<sub>1-z</sub>混晶からなる緩衝層222を積層した。トリメチル硼素 (化学式: (CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>B) / アンモニア (NH<sub>3</sub>) / ホスフィン (10体積% PH<sub>3</sub>-90%H<sub>2</sub>) 反応系を利用したBN<sub>z</sub>P<sub>1-z</sub> (0 ≤ z ≤ 1) 混晶層を成長させるに当たり、表層側の基板201bを形成するBP層に格子整合させるために、緩衝層222の成長初期の段階では、アンモニアガスの反応系への供給量は0 (零)、即ち窒素の組成比zを0とした。これにより、表層側の基板201bと、緩衝層222とは、その接合部分がいずれもBPから成り、ほぼ完全に格子整合することとなった。

【0099】緩衝層222の成長に費やす時間が経過すると共に、即ち、緩衝層222の層厚が増加するに伴い窒素の組成比zを単調に漸次、増加させ、最終的に0.02 (2%) とした。層厚を約200ÅとするBN<sub>z</sub>P<sub>1-z</sub>から成る緩衝層222の成長には10分間を要したが、この間には、アンモニアガスの反応系への供給量のみを増加させ、窒素組成比zが0から0.02まで変化するように勾配を付した。この成長期間中にはまた、第1実施例のジシラン-水素混合を利用してSiをドーピングし、緩衝層222をn形となした。

【0100】次に、緩衝層222に立方晶を主体とするIII族窒化物半導体層231, 232, 233を順次積層させた。すなわち、表面の組成をBN<sub>0.02</sub>P<sub>0.98</sub>とする緩衝層222の成膜終了後、その表面上には、水素気流中で740℃に於いて、砒素 (As) 組成比を0.0

1 (1%)とする立方晶を主体とするSiドーブn形砒化窒化ガリウム混晶層 ( $\text{GaNo.}_{99}\text{AsO.}_{01}$ ) を下部クラッド層231として積層した。成膜は、第1実施例に記載のアルシン-水素混合ガスを砒素 (As) 源とし、ジシラン-水素混合ガスをSiのドーピング源とする常圧のMOCVD法で実施した。下部クラッド層231の層厚は約2  $\mu\text{m}$  で、キャリア濃度は約  $3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$  とした。この下部クラッド層231の格子定数は4.521 Åであり、緩衝層222の表面組成  $\text{BNo.}_{02}\text{Po.}_{98}$  の格子定数4.520 Åにほぼ一致している。

【0101】  $\text{GaNo.}_{99}\text{AsO.}_{01}$  下部クラッド層231上には、740℃でインジウム組成比を0.02 (2%)とする、立方晶を主体とするSiドーブn形砒化ガリウム・インジウム混晶層 ( $\text{GaO.}_{98}\text{InO.}_{02}\text{N}$ ) を発光層232として積層した。発光層232の層厚は約1000 Åとした。発光層232のキャリア濃度として、約  $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  が得られるように、上記のジシラン-水素混合ガスのドーピング流量を調節した。

【0102】 n形発光層232の上には、Mgをドーピングした、砒素 (As) 組成比を0.01 (1%)とするp形砒化窒化ガリウム混晶層 ( $\text{GaNo.}_{99}\text{AsO.}_{01}$ ) を上部クラッド層233として積層した。成膜は、740℃で行った。上部クラッド層233の層厚は約5000 Åとし、キャリア濃度は約  $8 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  とした。上部クラッド層233の  $\text{GaNo.}_{99}\text{AsO.}_{01}$  混晶層を対象としたX線精密回折測定法では六方晶に帰属される回折ピークは観測されなかった。

【0103】 以上の積層操作により、立方晶である基板201上に、表層側の基板201bを構成する材料とも格子整合し、且つ下部クラッド層231とも格子整合を果たす、基板201と下部クラッド層231間の格子不整合を緩和するに効果を奏する緩衝層222を具備し、尚且、緩衝層222上に格子整合関係を保持しつつ積層してなるLED用途のpn接合型DH (ダブルヘテロ) 構造の積層構造体200を形成した。

【0104】 上記の積層構造体200を母体材料として近紫外光を放射するLEDを作製した。図14は第2実施例でのLEDの断面構造を示す図である。図において、LED201は、次のようにして形成した。積層構造体200の最表層をなすp形の砒化窒化ガリウム混晶 ( $\text{GaNo.}_{99}\text{AsO.}_{01}$ ) から成る上部クラッド層233の表面上に、第1実施例に記載の手法と手順に則り、 $\text{Au} \cdot \text{Zn} / \text{Ni} / \text{Au}$  の3層構成からなるp形オーミック電極208を設けた。n形オーミック電極209は、n形Si単結晶から成る下層側の基板201の裏面側に真空蒸着したAu単体からなる被膜から構成した。

【0105】 然る後、第1実施例に記載の裁断法に従いチップとなし、半導体素子封止用の透明エポキシ樹脂でモールド (mold) してLED201となした。その後、n形及びp形両オーミック電極間に順方向に直流電

流を流通させてLED201の発光特性を調査した。発光波長は約380 nmとなった。発光スペクトルの半値幅は約160 Åであった。紫外帯及び黄色、赤色帯での副次的なスペクトルは認められず、単色性に優れた発光を呈すLEDであった。順方向電圧はを20 mAとした際の順方向電圧は約4 Vであった。一般的な積分球を利用して通常に測定した発光出力 (発光輝度 ( $\text{cd}/\text{cm}^2$ )  $\times$  発光面積) は約500ミリカンデラ (mcd) と高く、これをもって本発明に依れば、従来の如く電極を形成するために発光面を削除する必要が無く発光面積の広さが維持できるため、格子整合系積層構造に起因する本来の発光強度の大きさと相俟って、高出力の発光デバイスが形成できることが提示された。

#### 【0106】

【発明の効果】 この発明は上記した構成からなるので、以下に説明するような効果を奏することができる。請求項1に記載の発明では、基板上に積層して成る積層構造体を、立方晶の結晶基板と、その結晶基板上に形成したリン化砒素ガリウム混晶から成る緩衝層と、その緩衝層上に形成したIII族窒化物半導体層3と、から構成したので、緩衝層は、結晶基板とIII族窒化物半導体層との間の格子不整合性を緩和し、また、III族窒化物半導体層の結晶系を立方晶を主体とする層となす作用を積極的に有し、このため、当該積層構造体の全体を格子整合性の良好な立方晶を主体とする構成とすることができる。

【0107】 そして、立方晶で全体を構成できるので、圧電効果が発生し難くなり、この積層構造体からデバイスを形成したとき、そのデバイスとしての高速応答性を確保する上で、大きく貢献することができる。

【0108】 また、立方晶であるため、低抵抗のp形伝導層を容易に形成することができ、したがって、pn接合構造を必要とする、例えばLEDやLD等の光デバイスや大電力サイリスタなどの電子デバイスをも容易に形成できるようになる。

【0109】 また、緩衝層をリン化砒素ガリウム混晶から構成したので、第III族元素の組成比を調整することで、格子定数を任意に制御することができ、したがって、その上に積層させたIII族窒化物半導体層との間でほぼ完全な格子整合性を持たせることができ、結晶欠陥の少ない良質の活性層等の機能層を備えた積層構造体をもたらす、デバイスとしての諸特性も大幅に向上させることができる。例えば、発光デバイスにあっては、発光強度等の発光特性に優れる発光デバイスを得ることができ、FETデバイスにあっては、活性層たるチャネル層の結晶性の向上に起因して高い移動度が発現され、相互コンダクタンス (所謂、 $g_m$ ) 等の重要特性の向上を可能とする。

【0110】 また、請求項2に記載の発明では、緩衝層を構成する第III族元素の組成比に勾配を付したので、緩衝層は、III族窒化物半導体層のみでなく、結晶基板



側との間でもほぼ完全な格子整合性を持つことができ、したがって、当該積層構造体の全体をほぼ完全な格子整合性のもとで構築することができる。

【0111】さらに、請求項3に記載の発明では、緩衝層を、当該緩衝層を構成する第III族元素の組成比を異にする層を重ねさせて構成したので、格子定数の異なる層を重ねさせることにより、緩衝層内に格子定数の異なる結晶歪を内包させることとなり、したがって、上層のIII族窒化物半導体層に転位等の結晶欠陥が伝搬するのを防止でき、結晶性に優れるIII族窒化物半導体層を積層させることができる。

【0112】請求項4に記載の発明では、基板上に積層して成る積層構造体を、立方晶の結晶基板と、その結晶基板上に形成したリン化窒化硼素混晶から成る緩衝層と、その緩衝層上に形成したIII族窒化物半導体層と、から構成したので、緩衝層は、結晶基板とIII族窒化物半導体層との間の格子不整合性を緩和し、また、III族窒化物半導体層の結晶系を立方晶を主体とする層となす作用を積極的に有し、このため、当該積層構造体の全体を立方晶を主体とする構成とすることができる。

【0113】そして、立方晶で全体を構成できるので、圧電効果が発生し難くなり、この積層構造体からデバイスを形成したとき、そのデバイスとしての高速応答性を確保する上で、大きく貢献することができる。また、立方晶であるため、低抵抗のp形伝導層を容易に形成することができ、したがって、pn接合構造を必要とする、例えばLEDやLD等の光デバイスや大電力サイリスタなどの電子デバイスをも容易に形成できるようになる。

【0114】また、緩衝層をリン化窒化硼素混晶から構成したので、第V族元素の組成比を調整することで、格子定数を任意に制御することができ、したがって、その上に積層させたIII族窒化物半導体層との間ではほぼ完全な格子整合性を持たせることができ、結晶欠陥の少ない良質の活性層等の機能層を備えた積層構造体をもたらす、デバイスとしての諸特性も大幅に向上させることができる。

【0115】請求項5に記載の発明では、緩衝層を構成する第V族元素の組成比に勾配を付したので、緩衝層は、III族窒化物半導体層のみでなく、結晶基板側との間でもほぼ完全な格子整合性を持つことができ、したがって、当該積層構造体の全体をほぼ完全な格子整合性のもとで構築することができる。

【0116】また、請求項6に記載の発明では、緩衝層を、当該緩衝層を構成する第V族元素の組成比を異にする層を重ねさせて構成したので、格子定数の異なる層を重ねさせることにより、緩衝層内に格子定数の異なる結晶歪を内包させることとなり、したがって、上層のIII族窒化物半導体層に転位等の結晶欠陥が伝搬するのを防止でき、結晶性に優れるIII族窒化物半導体層を積層させることができる。

【0117】また、請求項7に記載の発明では、リン化硼素ガリウムから成る層と、リン化窒化硼素から成る層とを重ねさせて緩衝層を構成するようにしたので、緩衝層はより幅広い格子定数を持つことができるようになり、したがって、その上下に接合させる結晶基板及びIII族窒化物半導体をより多様な材料から選択しても、ほぼ完全な格子整合性の下で接合させることができるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の積層構造体の構成を概略的に示す図である。

【図2】この発明の積層構造体の構成を概略的に示す図である。

【図3】リン化硼素ガリウム混晶( $B_xGa_{1-x}P$ )の硼素組成比 $x$ と格子定数 $L_1$ との関係を示す図である。

【図4】リン化窒化硼素混晶( $BN_zP_{1-z}$ )の窒素組成比 $z$ と格子定数 $L_2$ との関係を示す図である。

【図5】リン化硼素ガリウム混晶から成る緩衝層の硼素組成に勾配を付したときの層厚と硼素組成比との関係を示す図である。

【図6】リン化窒化硼素混晶から成る緩衝層の窒素組成に勾配を付したときの層厚と窒素組成比との関係を示す図である。

【図7】硼素の組成比を異にする層を重ねさせて成るリン化硼素ガリウム混晶から成る緩衝層を有する積層構造体を示す図である。

【図8】窒素の組成比を異にする層を重ねさせて成るリン化窒化硼素混晶から成る緩衝層を有する積層構造体を示す図である。

【図9】リン化硼素ガリウム混晶から成る層と、リン化窒化硼素混晶から成る層とを重ねさせて形成した緩衝層を有する積層構造体を示す図である。

【図10】緩衝層上に下地層を形成して成る積層構造体を示す図である。

【図11】第1実施例での積層構造体の断面構造を示す図である。

【図12】第1実施例でのLEDの断面構造を示す図である。

【図13】第2実施例での積層構造体の断面構造を示す図である。

【図14】第2実施例でのLEDの断面構造を示す図である。

【符号の説明】

1 基板

21 リン化硼素ガリウム混晶から成る緩衝層

22 リン化窒化硼素混晶から成る緩衝層

3 III族窒化物半導体層

10a 積層構造体

10b 積層構造体

10c, 10d, 10e, 10f 積層構造体



27

21a, 21b... 硼素組成比を異にするリン化硼素ガ  
リウム混晶から成る緩衝層  
22a, 22b... 窒素組成比を異にするリン化窒化硼  
素混晶から成る緩衝層  
21m リン化硼素ガリウム混晶から成る層  
22m リン化窒化硼素混晶から成る層  
23 層21m、層22mから成る緩衝層  
41, 42 下地層  
100 積層構造体  
101 基板  
105 コンタクト層  
108 p形オーミック電極  
109 n形オーミック電極  
110 LED  
121 緩衝層

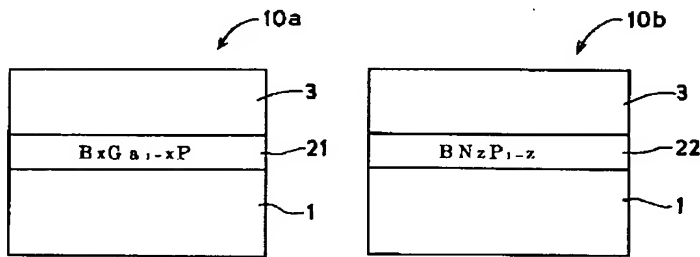
28

131 下部クラッド層  
132 発光層  
133 上部クラッド層  
200 積層構造体  
201a, 201b 基板  
208 p形オーミック電極  
209 n形オーミック電極  
210 LED  
222 緩衝層  
231 下部クラッド層  
232 発光層  
233 上部クラッド層  
x リン化硼素ガリウム混晶における硼素の組成比  
z リン化窒化硼素混晶における窒素の組成比

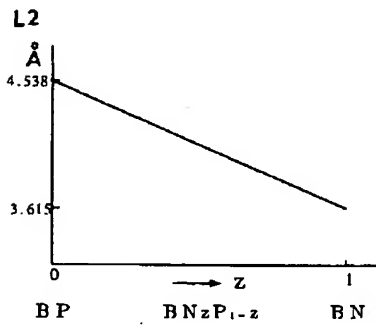
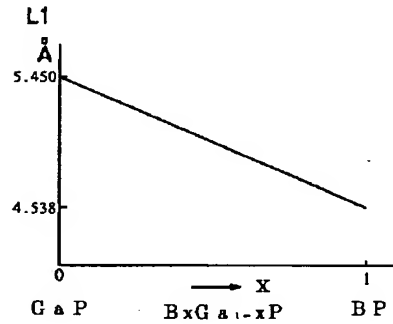
【図1】

【図2】

【図3】



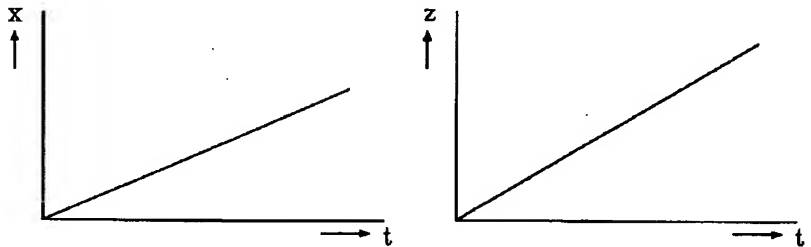
【図4】



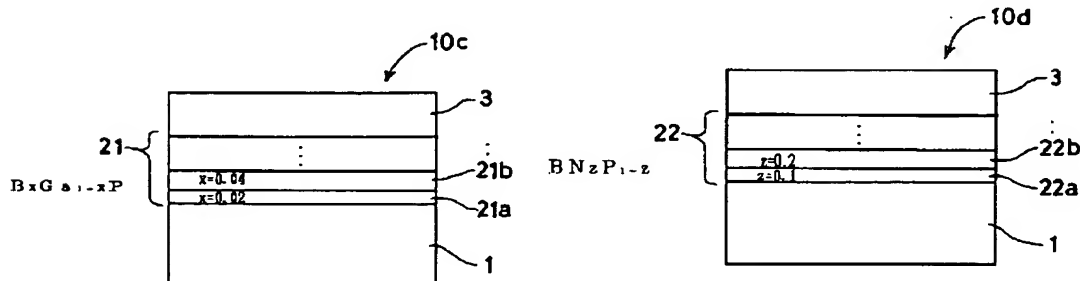
【図7】

【図5】

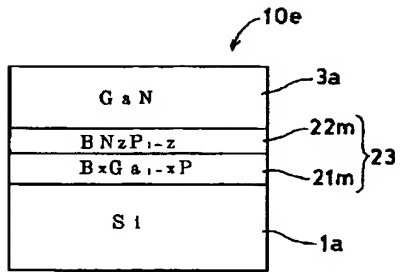
【図6】



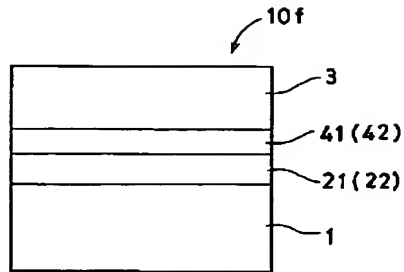
【図8】



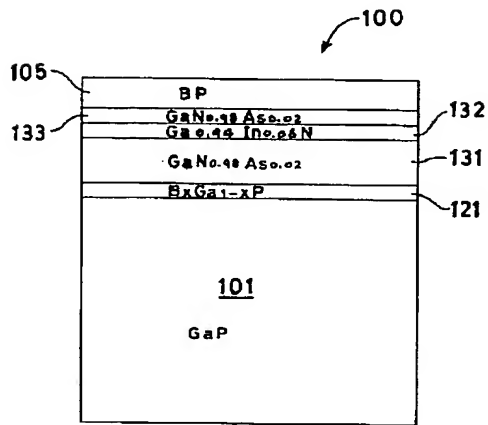
【図 9】



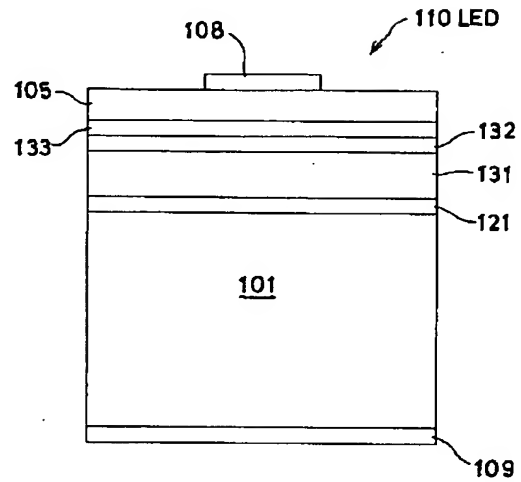
【図 10】



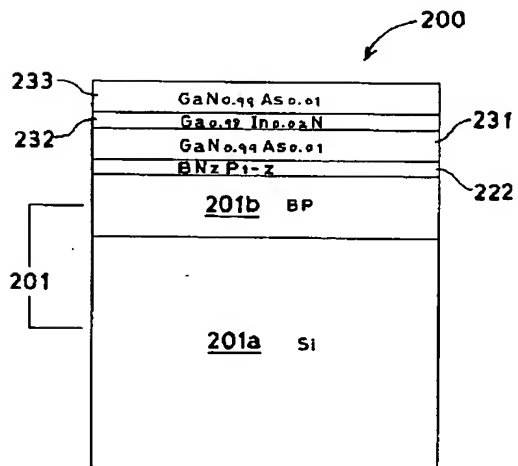
【図 11】



【図 12】



【図 13】



【図 14】

